



TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Liulei Jiang

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol de Treball Final de Grau: **Control d'un braç robot mitjançant ones cerebrals**

Director/a: **Rosa Gil**

Presentació

Mes: Setembre

Any: 2019

Agraïments

El primer lloc donar les gràcies a la meva tutora Rosa Gil però aportar-me la idea del projecte i tota la ajuda que m'ha aportat al llarg de la realització del projecte.

Al meu tutor Miquel Nogués per l'aportació del braç robòtic Braccio.

Als meus amics i la família per donar-me suport i ajudar quan la necessitava.

Resum

En la última dècada la tecnologia ha evolucionat a un ritme exponencial. Avui en dia no podríem ni imaginar un dia a dia sense tecnologia com abans i cada cop som més i més creatius per al desenvolupament d'un futur tecnològic.

Per altra banda, el món de la biotecnologia ha creat un nou mercat laboral, els dispositius biomètrics. De manera que disposem d'aparells que ens proporciona la informació que abans només s'obtenia en laboratoris.

Aquest projecte té com a principal objectiu crear una aplicació senzilla per controlar un braç robòtic amb les ones cerebrals.

Índex

Agraïments.....	1
Resum	1
1. Introducció.....	6
2. Motivació.....	7
3. Planificació	8
3.1. Diagrames de Gantt	8
3.2. Pressupost	10
4. Electroencefalograma (EEG).....	11
4.1. Història.....	11
4.2. Tipus d'ones cerebrals	12
4.3. Aplicacions de la EEG	13
4.4. Implementació de dades.....	14
5. Estat de l'art.....	15
5.1. Estudis realitzats	15
5.2. Estudis relacionats	16
5.2.1. Development and Simulation of Brainwave Controled Prosthesis	16
5.2.2. The arduino prosthesis using the Neurosky mindwave	16
6. Hardware utilitzat	17
6.1. Diadema MUSE 2	17
6.2. Braç robot Braccio 6 servo	19
7. Implementació	20
7.1. Muse Monitor	20
7.2. Arduino	21
7.3. Visual Studio.....	22
8. Conclusions	24
9. Treball futur.....	25

10.	Referències	26
-----	-------------------	----

Índex de taules

Taula 1. Planificació del projecte.	8
Taula 2. Pressupost del projecte..	10

Índex de figures

Fig. 1 Diagrama de Gantt inicial.....	9
Fig. 2 Diagrama de Gantt final.	9
Fig. 3 Parts del cervell humà.	11
Fig. 4 Ones Delta.	12
Fig. 5 Ones Theta.....	12
Fig. 6 Ones Alfa.....	12
Fig. 7 Ones Beta.	12
Fig. 8 Joc cognitiu per prevenir efectes d'envelliment.....	13
Fig. 9 Resultats d'una EEG mèdica.....	13
Fig. 10 Exemple de la gràfica d'ones absolutes.	14
Fig. 11 Captura del braç de un vídeo de la simulació.....	16
Fig. 12 Pròtesi low-cost d'Arduino.	16
Fig. 13 Distribució d'elèctrodes de la diadema Muse 2.	17
Fig. 14 Distribució dels sensors de les noves funcionalitats de la diadema Muse 2.	18
Fig. 15 Diferents objectes que pot suportar el braç Braccio.....	19
Fig. 16 Diferents muntatges del braç Braccio.	19
Fig. 17 Exemple gràfica Raw.	20
Fig. 18 Exemple gràfica Absolute.	20
Fig. 19 Exemple Discrete.	20
Fig. 20 Exemple gràfica Spectrogram.	20
Fig. 21 Simulació del braç en repòs.....	21
Fig. 22 Simulació de doblegar el braç.	21
Fig. 23 Simulació d'estirar el braç.....	22
Fig. 24 Pantalla del programa d'execució.	22

1. Introducció

Cada dia existeixen més implementacions d'enginyeria a la vida quotidiana com la domòtica, dispositius mòbils, automòbils elèctrics, etc. Una d'elles són els dispositius biomètrics, que utilitzen part del cos humà per realitzar accions. Entre elles a nova forma d'interacció conegut com a BCI (Brain Computer Interface), és el que ens centrarem en aquest projecte.

L'objectiu inicial del projecte és dissenyar un programa capaç de llegir a temps real les dades de les ones cerebrals, digitalitzar-les i implementar-les per al control d'un braç robòtic.

L'estructura del treball consisteix en un estudi previ del conceptes bàsics de les ones cerebrals, recerca de projectes similars, coneixement dels dispositius utilitzats i finalment la implementació.

No obstant degut a la dificultat tècnica que m'he trobat d'avant del disseny de la implementació del programa el treball s'ha modificat en registrar les dades de la lectura de les ones cerebrals i utilitzar-les per al control del braç robòtic.

Els altres objectius del projecte són;

- Comprendre les ones cerebrals.
- Familiaritzar amb els dispositius existent de BCI.
- Conèixer els dispositius utilitzats en el projecte.
- Extensions possibles per a un treball futur.

2. Motivació

Al principi no tenia res clar en que centrar-me el treball de final de grau i vaig anar a parlar amb meva tutora Rosa Gil, que em va proporcionar el tema del control del braç mitjançant ones cerebrals i el tema dels Smart Cities.

Darrere de la meva elecció tenia dos raons, la primera volia aprendre coses, i aquest món de les ones cerebrals ha sigut un món completament desconegut per mi i volia aprendre com és possible la seva implementació.

La segona raó i la més important en la meva opinió és que en aquest projecte seré capaç de veure el meu treball, és a dir, tenir experiència en controlar plataformes reals i no només treballar en l'àmbit virtual, veure com els codis que dissenyo s'implementen.

3. Planificació

La planificació del treball és una de les tasques més important de la documentació.

Es divideix en dues parts, la planificació temporal i el pressupost, és a dir, el temps previst, el temps aconseguit.

3.1. Diagrames de Gantt

Una de les eines més utilitzades per la planificació temporal és el diagrama de Gantt. Usualment s'incorpora dos diagrames, un diagrama inicial per al temps previst i un diagrama final per al temps aconseguit.

El projecte inicia al juliol i té com a data límit principis de setembre, per tant, el temps estimat són 9 setmanes.

Un cop obtingut el temps disponible per la realització del projecte procedim a la planificació temporal inicial del projecte (veure figura 1).

Taula 1. Planificació del projecte.

Tasques a realitzar	Duració previs (setmanes)	Duració real (setmanes)
Familiaritzar amb el dispositiu	1	1
Recerca d'informació Hardware	1	1
Disseny de la plataforma	3	5
Implementació	2	1
Documentació	2	?

Un cop finalitzada l'elaboració del projecte s'observa un retràs a la fase de disseny de la plataforma (veure figures 1 i 2).

El seu motiu és que a causa del canvi del dispositiu diadema Muse 2 respecte la seva anterior versió, no es possible obtindrà dades de la lectura de les ones cerebrals amb la aplicacions desenvolupades anteriorment del seu creador.

Per resoldre aquest problema s'ha intentat crear una aplicació web amb Node.js però degut a que no estic familiaritzat amb el programa no s'ha pogut solucionar i s'ha modificat el disseny a un registre en fitxer amb extensió .csv amb una aplicació de pagament i control mitjançar aquest registre.

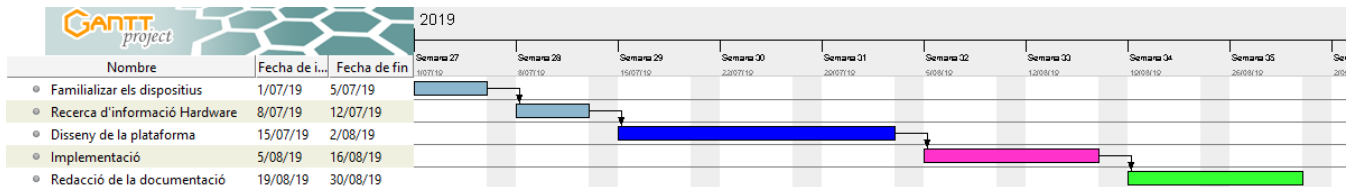


Fig. 1 Diagrama de Gantt inicial.

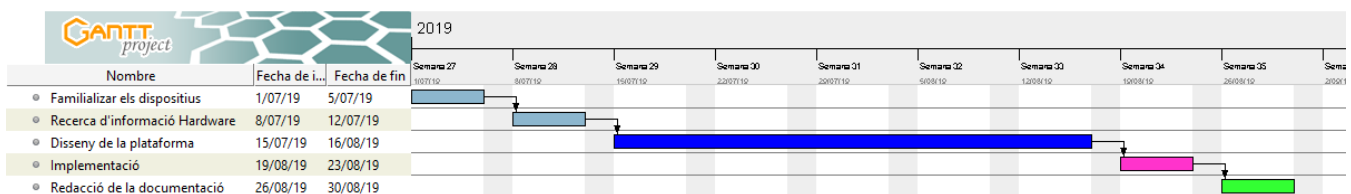


Fig. 2 Diagrama de Gantt final.

3.2. Pressupost

Respecte al pressupost s'afegiria el cost addicional dels dispositius Hardware i Software en cas en posseir cap d'elles.

A més a més de la mà d'obra del treballador en realitzar el projecte. Comptant la dedicació mitjana de 25 hores setmanals durant 9 setmanes establertes prèviament. Les hores de mà d'obra he comptabilitzat 12€/h, ja que sóc un estudiant sense cap experiència laboral en l'àmbit dels projectes.

A causa de la primera experiència amb el món de les ones cerebrals s'ha tingut en compte dues setmanes extres per familiaritzar-me amb l'àmbit, si hagués tingut experiència prèvia del camp el temps de mà d'obra es podria reduir dues setmanes.

Finalment realitzem el cost real d'aquest projecte:

Taula 2. Pressupost del projecte.

Cost	Preu (€)	Unitats
Diadema Muse 2	269,99	1
Muse Monitor	16,99	1
Braç robòtic Braccio	289,19	1
Treballador	12 €/h	225
Total	3.276,17 €	

4. Electroencefalograma (EEG)

4.1. Història

El cervell humà (veure figura 3) porta incorporat al seu interior milions de neurones formant una xarxa complexa que es comunica mitjançant petits impulsos elèctrics.

Un electroencefalograma és una representació gràfica de l'activitat elèctrica del cervell utilitzant uns petits discos metàl·lics anomenats elèctrodes. El primer electroencefalograma va ser aplicat pel Hans Berger en 1924 en el seu fill Klaus.

En un principi Hans Berger va centrar les seves investigacions per les bases físiques de la psicologia, a causa del poc èxit en demostrar la relació entre la temperatura cerebral i l'activitat psíquica, es va convertir en un neurofisiològic autodidàctic i va començar a registrar activitat elèctrica espontània en els cervells de gossos i gats. Posteriorment pareix que Hans Berger va continuar la seva investigació fora de l'horari laboral fins que el 6 de juliol de 1924 va ser capaç de registrar l'activitat cerebral del seu fill Klaus.

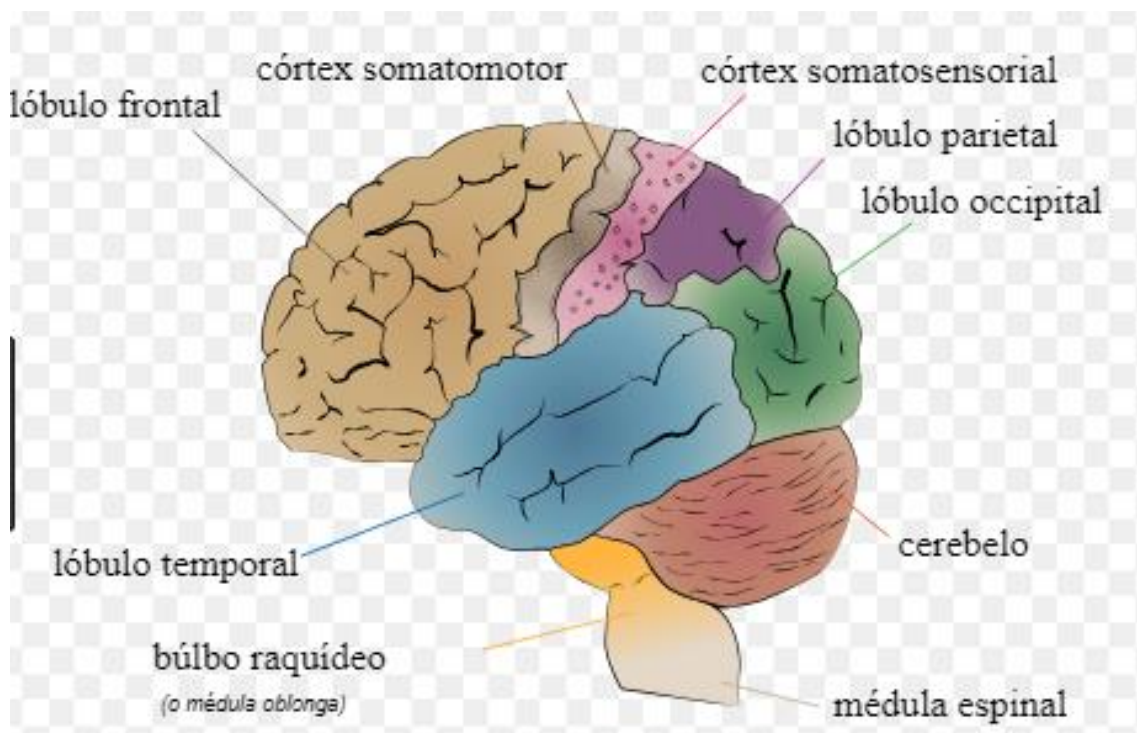


Fig. 3 Parts del cervell humà.

4.2. Tipus d'ones cerebrals

En una EEG essencialment es tracta de llegir les diverses ondes cerebrals per poder realitzar un diagnòstic, o en el nostre cas per la implementació al nostre braç robot.

Existeixen en total 5 diverses tipus d'ones cerebrals:

- **Les ones Delta (entre 1 i 3 Hz).** Són les ondes amb la major amplitud i s'associen amb la fase del somni profund.



Fig. 4 Ones Delta.

- **Les ones Theta (entre 3,5 i 8 Hz).** Són les ondes molt comunes en cas de nens tot i que també es troben en adults en estat de meditació o com a resposta davant de certs estímuls.



Fig. 5 Ones Theta.

- **Les ones Alfa (entre 7,5 i 13 Hz).** Van ser les primeres en ser registrades pel Berger. Són produïdes en l'estat de despert amb els ulls tancats i es redueixen considerablement amb els ulls oberts o durant el son.

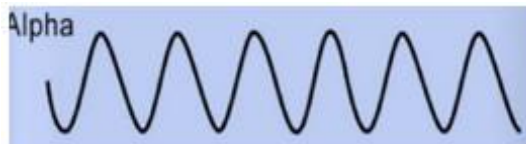


Fig. 6 Ones Alfa.

- **Les ones Beta (entre 12 i 33 Hz).** Són les ondes més interessant i pel consegüent complexes. Estan relacionats amb totes les activitats quotidianes on posem tota la nostra atenció o bé quan ens trobem en alerta i a l'hora hem d'estar pendent de diversos estímuls.

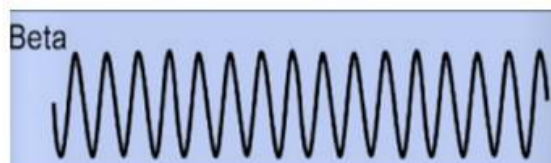


Fig. 7 Ones Beta.

- **Les ones Gamma (entre 25 i 100 Hz).** Són les últimes ondes descobertes degut a la seva alta freqüència van ser imperceptibles amb la electroencefalografia analògica i fins a la creació de les electroencefalografies digitals no van ser descobertes. S'associa principalment amb les activitats un alt rendiment cognitiu.

4.3. Aplicacions de la EEG

Una de les aplicacions més utilitzada avui en dia és pel diagnòstic mèdic per trastorns cerebrals. Com per ex. Convulsions i epilèpsia, malalties cerebrals com Alzheimer, tumors cerebrals, traumatisme cranial, etc.

A més a més també s'utilitza per monitoritzar l'activitat cerebral durant una cirurgia o avaluar problemes relacionats amb el somni.

Per altra banda cada cop som més els enginyers que intentem realitzar tasques diàries a través de les ones cerebrals com es comentarà en el capítol següent, i pot ser en un futur arribem a una etapa per fer que les persones amb un cert grau de minusvalidesa no es sentin diferents al demés.

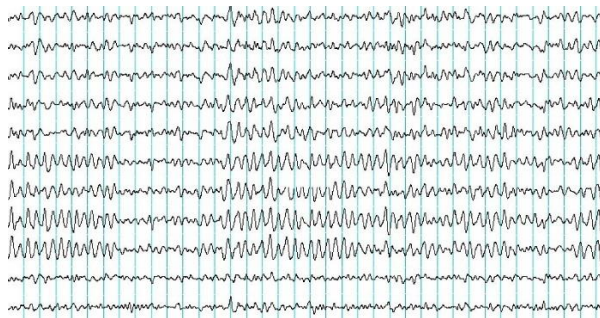


Fig. 9 Resultats d'una EEG mèdica.



Fig. 8 Joc cognitiu per prevenir efectes d'envelliment.

4.4. Implementació de dades

Per aquest projecte s'ha agafat la lectura d'ones absolutes que es calculen a partir del logaritme del sumatori de les densitats espectral de potència o PSD per les seves sigles en anglès Power Spectral Density.

La densitat espectral de potència no s'ha de confondre amb la potència mesurada en watts sinó que fa referència al quadrat de l'amplitud d'ona.

Degut a la dificultat de la lectura de dades s'utilitza una aplicació que proporciona la lectura d'ones absolutes que en si és una mitjana del logaritme del sumatori de les PSD i en unes freqüències determinades, en aquest cas entre 7,5 i 13 Hz, corresponent al rang de les ones alfa.

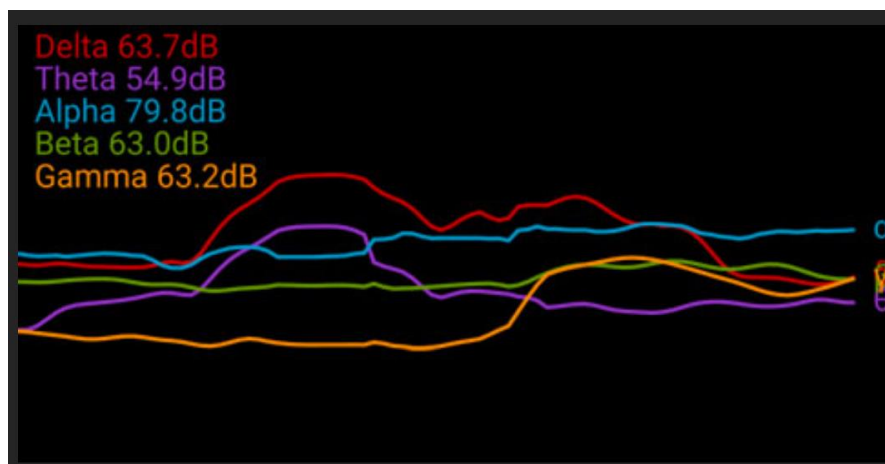


Fig. 10 Exemple de la gràfica d'ones absolutes.

5. Estat de l'art

5.1. Estudis realitzats

Per la realització d'aquest projecte he tingut que familiaritzar-me amb l'àmbit de les ones cerebrals, com es llegeixen i com s'utilitza un cop digitalitzades.

Per poder captar i transformar la lectura de les ones cerebrals en senyals s'ha utilitzat la diadema Muse 2 proporcionada per la meva tutora Rosa Gil, que hi ha la informació detallada sobre el dispositiu en el capítol 6. Hardware utilitzat.

Per obtenir les dades de lectura s'ha utilitzat l'aplicació Muse Monitor, desenvolupada per Muse amb la finalitat de tenir un registre de les lectures de les ones cerebrals. A més a més d'entendre el significat de les ones absolutes i la densitat espectral de potència explicades en l'apartat anterior.

Un cop obtingudes les lectures de les ones cerebrals, com són dades processades per utilitzar, es decideix en quin entorn es dissenya el programa. Degut al braç proporcionat pel meu tutor Miquel Nogués incorpora una placa d'Arduino pel seu control he decidit realitzar el programa amb Visual Studio, ja que he tingut experiència prèvia en l'entorn i aparentment era més senzill que aprendre un nou llenguatge de programa des de 0.

5.2. Estudis relacionats

5.2.1. Development and Simulation of Brainwave Controled Prosthesis

Aquest estudi realitzat en la universitat politècnica de Catalunya és un projecte molt similar al meu en que per mitjans de les lectures de les ones cerebrals en controlar una pròtesi feta de LEGO.

Implementa el diadema Neurosky per obtenir les dades a processar en Matlab i finalment controlar la pròtesi. Permet realitzar 3 moviments en funció de la lectura del diadema que es classifiquen en atenció, moviment vertical de la pròtesis, meditació, moviment horitzontal de la pròtesis, i pestanyejar per obrir o tancar la pinça de la pròtesi.



Fig. 11 Captura del braç de un vídeo de la simulació.

5.2.2. The arduino prosthesis using the Neurosky mindwave

El projecte consisteix en una pròtesi low-cost, que porta incorporat servomotors per la flexió del colze i també dels dits, controlat per una placa Arduino amb dades proporcionades de la diadema Neurosky.

La pròtesi incorpora la opció de expandir el components pensat pels usuaris que es troben en la època de creixement encara i el seu preu es realment low-cost. Els seus diferents models valen aproximadament 30\$, és a dir, 27€ aproximadament.

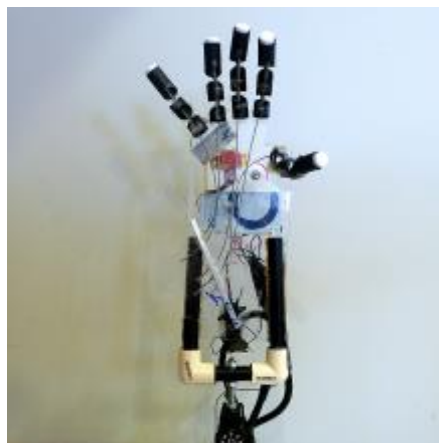


Fig. 12 Pròtesi low-cost d'Arduino.

6. Hardware utilitzat

6.1. Diadema MUSE 2

La diadema Muse 2 és una diadema per ajudar a la relaxació en estat de meditació.

Tot i que la seva creació va ser inicialment per ajudar en la meditació, però gràcies a la dedicació dels seus creadors van crear moltes aplicacions per ampliar la seva funcionalitat. Encara que l'estiu de l'any 2019 es va tancar la secció de desenvolupadors de Muse, totes les seves aplicacions tenen el servei tècnic a l'abast de tothom per si es vol treballar amb la diadema. La aplicació utilitzada en aquest projecte és la Muse Monitor explicada en el capítol següent.

La diadema Muse 2 es desenvolupa al 2018 per l'empresa InteraXon inc. de Canadà ubicada en 555 Richmond st. West – Suite 900, Toronto.

Segons la documentació disponible en la web, la diadema incorpora cinc elèctrodes, AF7, AF8, TP9, TP10 i FPZ. L'elèctrode FPZ és el de referència i la resta llegeix les dades de la lectura. La ubicació és com es mostra en la figura 13.

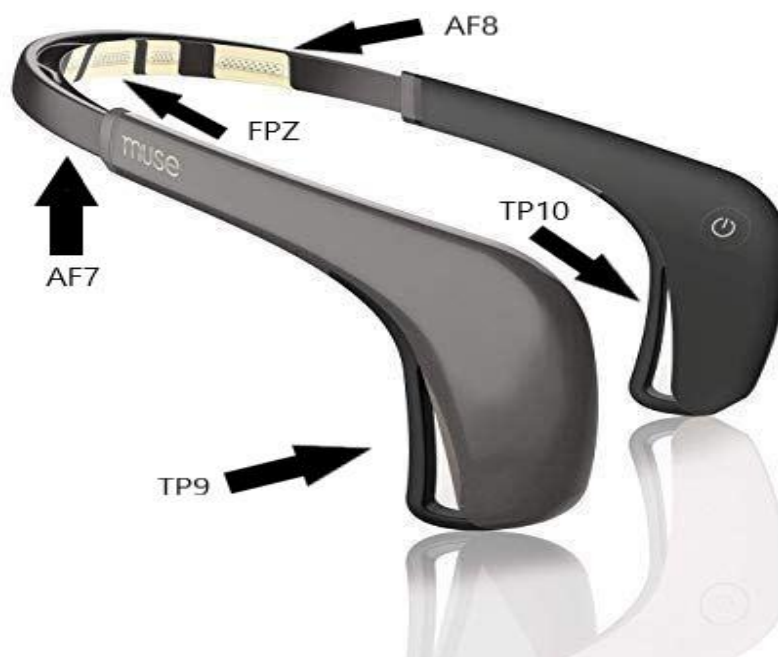


Fig. 13 Distribució d'elèctrodes de la diadema Muse 2.

La millora de la diadema Muse 2 respecte de la Muse és que a més del registre de l'activitat mental, incorpora noves funcionalitats de registrar el moviment del cos, el ritme cardíac i les respiracions.



Fig. 14 Distribució dels sensors de les noves funcionalitats de la diadema Muse 2.

6.2. Braç robot Braccio 6 servo

El braç Braccio proporcionat és un braç robot integrat amb sis servomotors controlat per una placa d'Arduino. El kit incorpora una shield de connexions compatible amb Arduino UNO i Arduino MEGA, en el meu cas es una placa d'Arduino UNO.

Té diferents possibilitats de muntatge en funció del seu ús i degut ala seva versatilitat pot suportar diferents objectes al final del braç també. Algunes possibilitats es mostren en les figures següent:

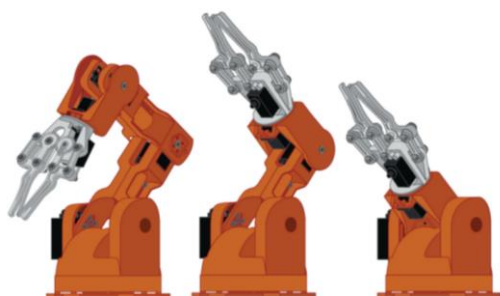


Fig. 16 Diferents muntatges del braç Braccio.



Fig. 15 Diferents objectes que pot suportar el braç Braccio.

Dels sis servomotors hi ha dos servomotor SR311, que s'utilitzen per al gir de la base i de la pinça respectivament i quatre servomotor SR431, del qual, tres per al moviment dels diferents parts del braç i l'últim per al moviment de la pinça.

La major diferencia que he observat entre elles és que el servomotor SR311 té una major velocitat però menys força i en canvi, el servomotor SR431 té major força però una velocitat una mica més reduïda.

7. Implementació

7.1. Muse Monitor

La aplicació Muse Monitor és una aplicació de pagament que permet al seu usuari veure una sèrie de gràfiques de les ones cerebrals amb la diadema Muse/Muse 2, a més a més aporta la opció de registrar i/o compartir les dades de les lectures per les xarxes socials amb format d'un arxiu amb extensió .csv.

La aplicació monitoritzar les ones cerebrals en:

- Ones absolutes (Absolute). És una gràfica de la mitjana del logaritme del sumatori de la densitat espectral de potència (PSD, Power Spectral Density) de les lectures de EEG de cada canal de comunicació (veure figura 17). Les dades estan registrades en un rang de (-1, +1) dB, però per facilitar la visualització són mostrades en un rang de (0, 100) dB.
- Raw. És una gràfica de mostreig de les lectures del quatre elèctrodes del la diadema en μV (veure figura 18). El rang de les dades corresponen a (0, ~1682) μV .
- Discreta (Discrete). Correspon a la gràfica de freqüències en escala logarítmica calculades amb la FFT (Fast Fourier Transform) de Matlab utilitzant la Hamming Window (veure figura 19).
- Espectrograma (Spectrogram). Correspon a la gràfica de mostreig de les freqüències discretes traçat al llarg del temps (veure figura 20).

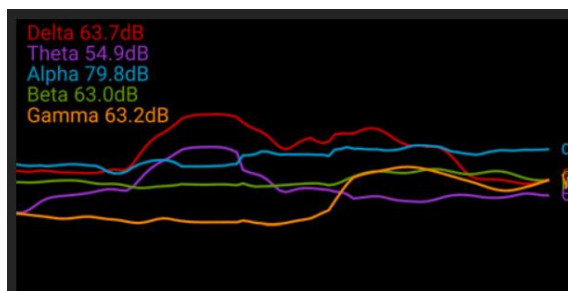


Fig. 18 Exemple gràfica Absolute.

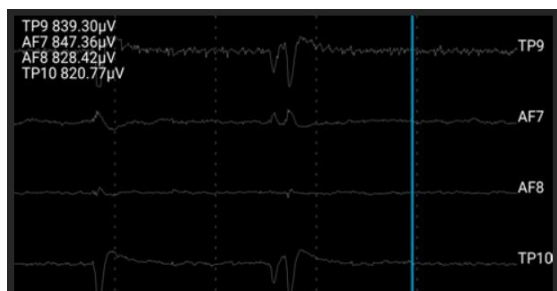


Fig. 17 Exemple gràfica Raw.

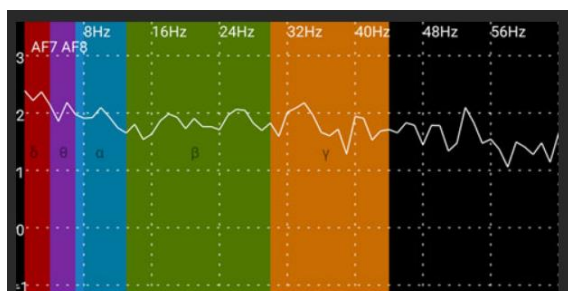


Fig. 19 Exemple Discrete.

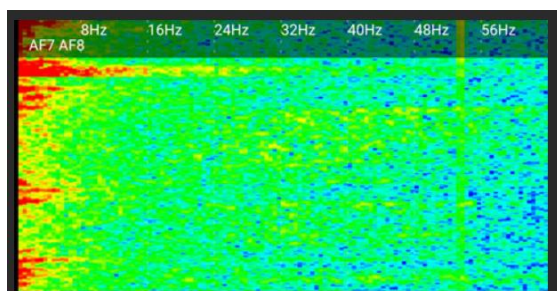


Fig. 20 Exemple gràfica Spectrogram.

7.2. Arduino

Un cop recollides les dades de la lectura de les ones cerebrals les introduïm al programa de l'Arduino per inicial els codis de moviment del braç del robot.

El programa té un temps d'inici del braç d'aproximadament 8 segons tinc l'execució dels codis.

En total hi ha programa tres moviment diferent del braç en funció del valor de les dades que arriba. Si el valor en menor a 0.7dB, el braç es ficarà en la posició vertical com es mostra en la imatge següent:

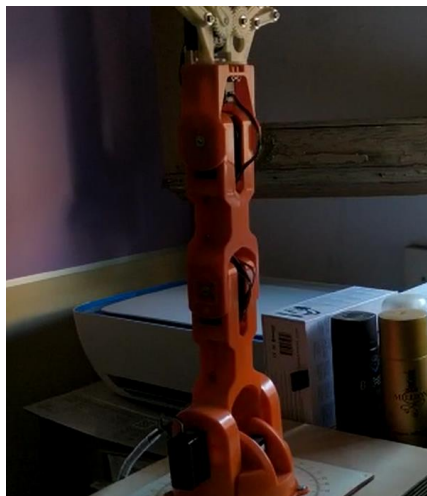


Fig. 21 Simulació del braç en repòs.

Si el valor es troba en el rang de $[0.7, 0.95)$ dB, el braç es ficarà formant un angle de 90° per simular l'acció de doblegar el braç.



Fig. 22 Simulació de doblegar el braç.

Finalment si la intensitat és superior a 0.95 dB, el braç simularà l'acció d'estirar la mà com la figura següent:



Fig. 23 Simulació d'estirar el braç.

7.3. Visual Studio

El programa d'execució del Visual Studio consisteix en arrancar l'últim programa pujat a l'Arduino i aconseguir les dades per plotejar una gràfica de la ona absoluta alfa del registre de la diadema Muse 2.

La plantilla del programa es la indicada en la figura següent:

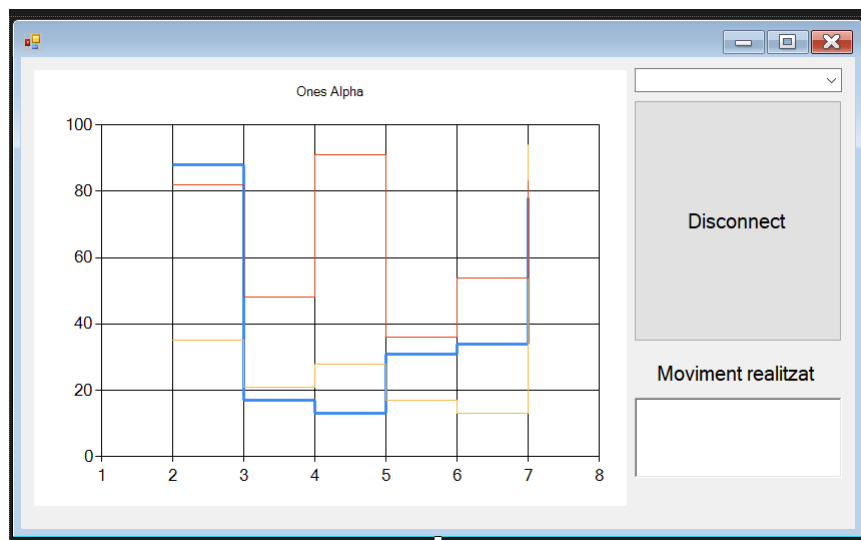


Fig. 24 Pantalla del programa d'execució.

El funcionament del programa consisteix en seleccionar primerament en quin port es vols connectar i clicar al botó, després arrancarà el programa de l'Arduino.

Un cop que el braç estigui iniciat es començarà a plotejar la ona absoluta alfa escalar entre (0, 100) dB. La gràfica incorpora dues rectes de límit que corresponen a 70 dB i 95 dB per facilitar l'observació del moviment del braç.

A més a més porta un richtextbox per mostrejar l'acció del braç i per comprovar si el braç segueix la descripció del moviment corresponent.

8. Conclusions

Com a conclusió del projecte, es pot dir que s'ha completat el majoria dels objectius establerts, tot i que hagués volgut poder realitzar les lectures a temps real. Malgrat tot això, ha sigut una experiència molt positiva, ja que el control del braç s'ha pogut realitzar-se correctament amb la lectura de les ones cerebrals.

El fet de la realització del projecte ha sigut una enorme tasca per mi, ja que era un món que no tenia ni idea de com funcionava. Tot i que al final m'he familiaritzat amb els dispositius per realitzar el projecte.

Per un altre costat, les ones cerebrals han sigut una àrea totalment desconeguda per mi. Ha sigut una gran tasca conèixer les EEGs, entendre les ones i com funcionen ha sigut una de les part més costoses i divertides del projecte.

Finalment cal dir que estic molt content amb el projecte, ja que al final s'ha pogut crear l'aplicació correctament i he après moltes coses sobre l'àmbit de les ones cerebrals que podria ser molt interessant per al meu futur.

9. Treball futur

Un cop finalitzat el projecte es podria continuar-se de diferents maneres.

- Recreació del projecte inicial, és a dir, aconseguir les lectures a temps real per al control del braç.
- Anàlisi de dades, és a dir, analitzar les lectures de les ones cerebrals per crear el seu espectrograma sense el Muse Monitor.
- Creació de jocs. Utilitzar les lectures de les ones cerebrals per a crear jocs per entreteniment o bé com a prevenció a l'envelliment com s'ha comentat en l'apartat de les aplicacions de les EEGs.
- Control de drons. Utilitzar el giroscopi de la diadema Muse 2 per controlar els moviments d'un dron.

En qualsevol cas l'aplicació de les ones cerebral és pràcticament il·limitada.

10. Referències

Mayo Clinic. (2018). Electroencefalografía (EEG). Recuperat de: <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875>.

NeuroFeedBack. (2019). ¿Qué son las ondas cerebrales? Recuperat de: <https://www.neurofeedback.cat/que-son-las-ondas-cerebrales/>.

Historia de las neurociencias. (2010). Hans Berger, el inventor del electroencefalograma. Recuperat de: <http://historianeurociencias.blogspot.com/2010/07/hans-berger-el-inventor-del.html>.

Las mentes maravillosas. (2017). Tipos de ondas cerebrales: Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma. Recuperat de: <https://lamenteesmaravillosa.com/tipos-de-ondas-cerebrales/>.

FERNÁNDEZ-HIDALGO, A.G. (2013). Design and simulation of a brainwave controled neuroprosthesis. Recuperat de: <https://pdfs.semanticscholar.org/2dba/d459f6dcfdf863ccf72aef195c9c942108fe.pdf>.

NATHAN, S. (2013). The arduino prosthesis using the Neurosky mindwave. Recuperat de: <http://learn.parallax.com/sites/default/files/inspiration/813/dl/Prosthetic-Arm-Report.pdf>.

MUSE. (2018). Choose Muse. Recuperat de: <https://choosemuse.com/es/>.

ALIBABA.COM. (s.d.). SR311 Robot servo 180 grados de rotación 27G Metal Gear para robótica afición. Recuperat de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/sr311-robot-servo-180-degree-rotation-27g-metal-gear-for-robotics-hobby-60111287684.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.27797390NBin8w>.

ServoDatabase. (s.d.). Spring RC SR431 – Dual Output Robot Servo. Recuperat de: <https://servodatabase.com/servo/springrc/sr431>.

MUSE. Tech Support. (2018). Muse 2 Muse Direct connection Windows 10. Recuperat de: <http://forum.choosemuse.com/t/muse-2-muse-direct-connection-windows-10/3984>.

MUSE. Developer Forum. (2018). Brainwaves units are in dB, but have they been scaled? Recuperat de: <http://forum.choosemuse.com/t/brainwave-units-are-in-db-but-have-they-been-scaled/99>.

MUSE. Developers. (2015). MuseIO | Available Data. Recuperat de: <https://web.archive.org/web/20181105231756/http://developer.choosemuse.com/tools/available-data>.

GitHub. Urish. (2017). Muse 2016 EEG Headset LSL (NodeJS). Recuperat de: <https://github.com/urish/muse-lsl>.

GitHub. Conorato. (2019). EEG multiplayer game using MUSE headbands. Recuperat de: <https://github.com/PolyCortex/MindPong>.

MUSE Monitor. Charts. (s.d.). Online Charts from CSV. Recuperat de: <https://musemonitor.com/Chart.php>.

MUSE Monitor. FAQ. (s.d.). CSV Specification. Recuperat de: <https://musemonitor.com/FAQ.php>.

MUSE Monitor. (s.d.). Technical Manual. Recuperat de: https://musemonitor.com/Technical_Manual.php.

MUSE Monitor. FAQ. (s.d.) MATLAB. Recuperat de: <https://musemonitor.com/FAQ.php>.

Arduino. (2019). Language Reference. Recuperat de: <https://www.arduino.cc/reference/en/>.

Arduino. (2019). Libraries. Recuperat de: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>.